

갑상선암 환자에서 방사성옥소치료 후 안전하게 이동할 수 있는 시간을 계산하기 위한 실용적인 간편계산법 제안

박석건*

¹단국대학교의과대학 핵의학교실

Suggestion of A Practical Simple Calculation Method for Safe Transportation Time after Radioactive Iodine Treatment in Patients with Thyroid Cancer

Seok-Gun Park^{1*}

¹Department of Nuclear Medicine, Dankook University Medical College,

요 약 방사성옥소 치료를 받은 환자가 격리 후 차량으로 귀가할 때 동승자가 받는 방사선 피폭량을 줄이기 위해서는 동승하는 시간을 적절하게 제한해야 한다. 계산 방법이 어렵기 때문에 현재까지 일반적인 가이드라인은 있어도 환자 개개인의 상태를 반영하는 기준은 없었다. 그런데 비교적 짧은 이동시간 동안에는 소변을 통한 배출이 없고 물리적인 붕괴도 없다는 가정을 하면 총선량 = 선량을 x 이동시간이라는 아주 간편한 계산을 할 수 있다. 입원했던 환자 120명의 데이터를 활용하여 이 간편계산법과 표준적인 계산법으로 계산한 결과를 비교하였다. 이동가능 시간을 계산했을 때 간편계산의 결과는 표준적인 방법에 비해 0.3 m 거리에서는 56%, 0.5 m 거리에서는 91%, 1 m 거리에서는 96%였다. 간편계산법은 안전한 방법이며, 방사선안전관리 방법으로 쉽게 적용할 수 있을 것이다. 또한 방사성옥소 치료를 받는 갑상선기능항진증 환자에서도 적용이 가능하다.

Abstract When a patient with thyroid cancer is released from isolation after I-131 treatment and return to home using a vehicle, travel time should be controlled to reduce the amount of radiation to accompanying person. As the calculation of appropriate travel time is difficult, there is no patient-specific guideline until now. If we assume that there is no excretion and no physical decay during the relatively short travel time, calculation become quite simple; total radiation dose = dose rate x travel time. Results of this simple calculation and conventional calculation were compared using datum from 120 patients. Travel time calculated by simple method was 56% of conventional method in 0.3 m, 91% in 0.5 m and 96% in 1 m. Simple method was safe. It can be applied easily and also can be applied to the patients with hyperthyroidism treated by I-131.

Key Words : I-131, radiation safety, thyroid cancer, treatment,

1. 서론

갑상선암은 모든 암의 1% 정도에 달하는 가장 흔한 내분비암이다. 대상환자의 선정, 용량, 예후의 예측 등에 대한 논란이 활발하게 일어나고 있지만, 수술로 갑상선암을 제거한 후에는 방사성옥소 치료를 하는 것이 현재

의 표준적인 치료법이다[1, 2].

그런데 방사성옥소(I-131)를 인체에 투여할 경우 환자 뿐 아니라 주변에 있는 사람들에게도 방사선 피폭에 의한 피해를 줄 수 있는 위험이 있기 때문에 엄격한 방사선 안전관리가 필요하다. 방사선 안전관리를 해야 하는 항목 중의 하나는 환자가 퇴원한 후 집으로 이동하는

*Corresponding Author : Seok-Gun Park(Dankook Univ.)

Tel: +82-041-550-6952 email: seokgun@paran.com

Received February 10, 2015

Revised (1st March 18, 2015, 2nd April 24, 2015, 3rd June 2, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

시간에 대한 관리이다. 환자가 귀가하는 동안 대중교통이나 개인 차량을 이용하게 되는데, 동승한 사람은 환자로 부터 방사선을 받게 되며, 따라서 이 피폭량을 일정 수준 이하로 유지하려는 노력을 해야 한다.

그렇게 하기 위해서는 우선 고용량의 I-131을 투여 받은 환자는 병원에 입원을 하도록 하여 일정 기간 동안 격리를 한 후, 환자로 부터 나오는 방사선량이 정해진 수준 이하로 떨어지면 퇴원을 하도록 한다. 처음부터 1.1 GBq 이하의 I-131을 투여하는 경우에는 격리 없이 바로 귀가할 수 있다. 소개되고 있는 방사선안전관리 가이드라인들은 이러한 조건을 만족시켰을 경우 택시나 혹은 다른 사람이 운전하는 승용차를 이용하여 1-2시간 정도를 이동하는 것을 허용하고 있다.

그러나 가이드라인은 개별 환자의 특성을 반영하지는 못하고 있다. 미국원자력규제위원회의 권고에서는 퇴원 기준을 일반인의 연간 유효선량이 1 mSv 이하가 되도록 관리할 수 있거나, 환자 체내의 잔류방사능이 1100 MBq 이하, 또는 1 m 거리에서의 선량율이 시간당 0.05 mSv 이하일 때로 하고 있다. 우리나라 교육과학기술의 방사선안전관리등의 기술기준에 관한 준칙에는 30 mCi(1100 MBq) 이하인 경우에는 격리병실에 입원하지 않아도 되며, 환자로 부터 1 m 거리에서 피폭량이 5 mR/h(0.05 mSv/h) 이하가 될 때까지 입원 치료를 받아야 한다고 정하고 있어서 국내의 병원들은 이를 따르고 있다[3, 4, 5].

퇴원의 기준을 환자로 부터 나오는 방사선이 50 uSv/h(5 mR/h)이하가 될 때로 정해서 관리하지만, 정확하게 50 uSv/h가 되는 바로 그 시점에 격리를 해제할 수 있는 것은 아니다. 퇴원하는 환자는 50 uSv/h 이하의 어느 지점에 있으며, 따라서 동승자가 환자로 부터 받게 되는 방사선 피폭량도 똑같지가 않고 서로 다르게 된다. 또한 같은 양의 I-131을 투여하더라도 환자의 체형에 따라서 환자로 부터 나오는 방사선량에 차이가 있기 때문에 1.1 GBq로 같은 양의 I-131을 투여 받은 환자로 부터 나오는 방사선량이 항상 50 uSv/h이하가 되는 것은 아니다.

이런 이유 때문에 일반적인 가이드라인에 더하여 개별 환자의 특성을 반영할 수 있는 환자 맞춤형의 가이드라인이 필요한데, 저자가 아는 한 아직까지 개별 환자의 특성을 반영하는 가이드라인은 없었다. 그것은 환자에게 투여된 I-131이 물리적인 붕괴를 통해 소실되기도 하지만, 주로 소변으로 배출되면서 빠져나가게 되는데, 사람

마다 배출되는 속도가 달라서 시간 간격을 두고 이것을 여러 번 측정을 하지 않으면 개인의 I-131 배출속도를 알 수가 없기 때문이다. 결국 각 환자의 몸에서 얼마나 빠른 속도로 방사선이 줄어드는지를 알 수 없기 때문에, 그 환자와 가까이 있는 사람이 받게 될 방사선의 총량도 정확하게 계산을 할 수가 없는 것이다. 물론 평균적인 값은 알고 있고, 그 값을 이용하여 안전관리 가이드라인을 만들지만, 그것이 바로 그 환자 개인의 값은 아니다.

따라서 저자는 여러 번 실측을 하여 시간-방사능 곡선을 얻고 여기서 배출 속도를 계산해 내지 않아도 계산이 가능한 간편한 환자 맞춤형의 이동시간 계산법을 제안하고, 격리치료를 위해서 입원했던 환자들의 실측 데이터를 이용하여 이 간편계산법에 의해서 계산한 결과를 표준적인 계산법에 의한 결과를 비교함으로써, 간편계산법이 실제로 사용할 수 있는 안전하고 실용적인 방법이라는 것을 입증하기 위해서 본 연구를 시행하였다.

2. 대상 및 방법

2.1 대상 및 측정

병원 IRB의 연구승인(2015-01-010)을 받고 2013년 1월부터 2013년 12월까지 I-131 치료를 위해 격리치료실에 입원했던 갑상선암 환자 120명의 방사선량을 측정 한 데이터를 분석하였다 (평균연령 47.6±13.5세, 여:남 =97:23). 방사선량을 측정한 방법을 간단히 설명하면, 격리실 안의 벽에 방사선측정기를 고정 설치하고, 4시간 간격으로 환자로 부터 1미터 거리에서 측정하도록 하였다. 방사선측정기의 프로브로부터 1미터 거리가 되는 지점의 바닥에 표시를 해 놓고 측정할 때는 그 자리에서도록 함으로써 측정 거리는 항상 1미터가 되도록 하였다. 방사선측정기의 프로브는 격리실 내부의 벽에 고정이 되어있고, 측정된 값은 격리실의 외부에서 읽을 수 있도록 선을 연결함으로써 측정하는 사람은 방사선에 노출이 되지 않고도 필요한 만큼 여러 번 방사선량을 측정할 수 있다. 측정된 값들을 상용화된 스프레드시트 프로그램(MS Excel)에 기입하여 각 환자에서 시간-방사능 곡선을 얻을 수 있고(Fig 1), 이 시간-방사능 곡선의 면적을 적분하면 이 환자로 부터 1미터 떨어진 거리에서 있는 사람이 받게 되는 방사선의 총량을 계산할 수가 있다.

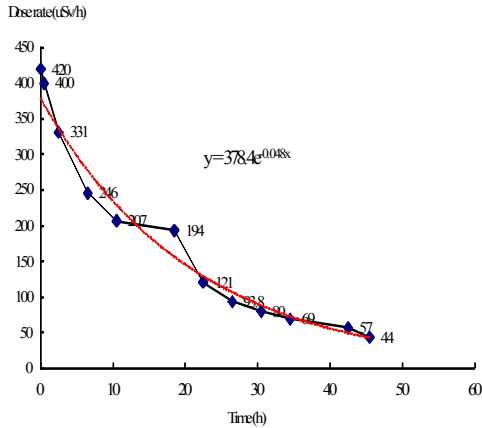


Fig. 1. Time-Activity Curve. An example of radiation dose rate measurements (◆) of a patient and time-activity curve derived from them. Smooth line is curve-fit. Equation of this line is expressed in the chart.

2.2 계산 방법

2.2.1 표준적인 계산방법에 의한 이동시간 계산:

비교를 위해 기준점을 환자의 몸 안에 정확하게 1.1 GBq(이 값은 I-131을 투여한 후 격리를 하지 않고 바로 귀가시킬 수 있는 방사선의 양이기도 하다)의 I-131이 남아있을 때로 하였다. 이 때 환자의 몸에서 나오는 방사선량을 계산하고, 이 값을 이용하여 이 시간 이후부터 동승자가 받게 될 방사선의 총량이 관리해야 할 수준에 도달할 때 까지 걸리는 시간을 계산하였다. 이 시간이 안전하게 이동할 수 있는 시간이 된다.

시간-방사능 곡선의 공식 $A=A_0E^{-\lambda t}$ 로부터, 체내에 남아있는 I-131이 1.1 GBq가 되는 시점을 t_1 이라고 하면, $t_1=-1/\lambda \ln(1.1/A_0)$ 가 된다(A_0 는 처음 투여한 I-131의 양). 이 시점에서 환자로 부터 나오는 방사선량률 A' 는 $A_0E^{-\lambda t_1}$ 으로 계산할 수 있다. λ 는 여러 번 실측한 값으로부터 유도되는 시간-방사능곡선의 지수이며, 유효반감기 T_{eff} 의 역수($0.693/T_{eff}$)이다. 이 시점 이후 환자로 부터 1미터 떨어진 거리에 있는 사람이 받게 되는 방사선의 총량은 이 시점 이후의 시간-방사능 곡선의 면적을 적분한 값 즉 $A'(1/\lambda)e^{-\lambda t}$ 가 된다. 만약 동승자에게 허용할 수 있는 방사선의 총량을 일반인에게 허용되는 방사선량의 상한선인 1 mSv라고 정하면, $1=A'(1/\lambda)e^{-\lambda t}$ 로부터, 안전하게 허용할 수 있는 이동시간 t 는 $-1/\lambda \ln(\lambda A')$ 가 될 것이다.

2.2.2 간편계산법에 의한 이동가능시간의 계산:

이동하는 시간 동안에는 I-131의 방사선붕괴가 없고, 소변을 통해서 체외로 배출이 되는 일도 없다는 가정을 하면 위의 계산을 훨씬 간편하게 만들 수 있다. 환자와 가까이 있는 동승자가 받게 되는 방사선의 총량은 단순한 곱셈으로 표현되어 $A't$ 가 된다(여기서 A' 는 출발하는 시점의 방사선량률, 위의 공식 중에서 $A=A_0E^{-\lambda t}$ 과 같은 값, t 는 이동시간). 따라서 허용할 수 있는 방사선의 상한선을 1 mSv로 정하면 $t=1/A'$ 로 간편하게 이동가능 시간을 계산할 수 있다.

2.2.3 거리의 보정:

환자로 부터 1 m 떨어진 거리에서 측정한 값을 사용하므로, 거리가 1 m보다 작거나 클 때는 거리에 대한 보정을 한다. 방사선량률은 거리의 제곱에 반비례하는 성질이 있으므로, 방사선을 내는 환자로 부터 어떤 거리 d 만큼 떨어져 있는 곳의 방사선량률 R 은 A'/d^2 이 된다. 차량 안에서 거리 d 는 보통 1 m 보다 적게 되며, d 가 작아질수록 받게 되는 방사선의 양은 급격하게 늘어나게 된다. 동승자에게 허용하는 방사선 피폭량의 상한선을 1 mSv라고 하면 거리를 보정한 이동가능 시간은 $t=1/R=d^2/A'$ 로 계산할 수 있다. 표준적인 계산방법, 간편계산법 모두 거리 보정을 하였다.

3. 결과

3.1 투여한 I-131 용량에 따라 3.7, 5.55, 7.4 GBq의 세 개의 치료 그룹으로 나눈 시간-방사능곡선의 공식과, 곡선을 이용한 계산 결과들은 표 1과 같았다(Table 1).

3.2 I-131의 유효반감기는 14.2 ± 3.1 (8.3-23.1)시간이었다. 몸 안에 1.1 GBq의 I-131이 남아있다고 했을 때 환자로 부터 나오는 방사선량은 67.9 ± 8.97 uSv/h로 계산되었다.

3.3 동승자에게 허용할 수 있는 방사선량의 상한선을 1 mSv로 했을 때 간편계산법에 의한 이동가능 시간은 아래와 같았다.

- 1 m 거리에서 15 ± 2.22 h
- 0.5 m 거리에서 3.8 ± 0.55 h
- 0.3 m 거리에서 1.4 ± 0.2 h

Table 1. Results arranged by administered dose group. Average, standard deviation and ranges of A0 and λ of the time-activity curve $A=A_0E^{-\lambda t}$ are shown. Time to reach 1 mSv when body retention of I-131 is 30 mCi can be converted into safe transportation time if it is multiplied by the inverse square of the distance from the patient.

Dose (GBq)	A0 (uSv/h)	λ	Time to Body Retention become 1.1 GBq (h)	Dose Rate when Body Retention is 1.1 GBq (h)	Time to Reach 1 mSv by Conventional Calculation (h)	Time to Reach 1 mSv by Simple Calculation (h)
3.7 N=51	248.1±33.88 (194.6-350.9)	0.05±0.01 (0.03-0.08)	26.9±6.37 (15.9-43.6)	69.7±9.25 (54.8-8.4)	25.9±7.3 (14.1-42.7)	14.6±1.86 (10.2-18.2)
5.55 N=67	357.3±37.22 (270.0-442.6)	0.05±0.01 (0.04-0.08)	33.2±6.45 (21.5-50.5)	66.5±8.52 (38.0-82.0)	29.4±8.02 (17.3-61.9)	15.3±2.42 (12.2-26.3)
7.4 N=2	476.6	0.05	44.0	67.6	26.0	15.1

3.4 허용할 수 있는 방사선량의 상한선을 1 mSv로 했을 때 표준적인 계산법에 의한 이동가능 시간은 아래와 같았다.

- 1 m 거리에서 27.8±7.8 h
- 0.5 m 거리에서 4.1±0.62 h
- 0.3 m 거리에서 1.5±0.82 h

3.5 간편계산법으로 계산한 이동가능시간은 어떤 경우에도 표준적인 계산법으로 계산한 이동가능시간을 초과하지 않았다. 간편계산법으로 계산한 시간은 표준적인 방법으로 계산한 시간의 56-96%로 0.3 m 거리에서는 56%, 0.5 m 거리에서는 91%, 1 m거리에서는 96%였다.

4. 고찰

갑상선암 환자의 I-131 치료에 있어서 환자의 체내에 남은 I-131의 양이 1.1 GBq이하가 되면 격리를 해제하고 귀가하도록 하고 있다. 혹은 1.1 GBq 이하의 I-131을 투여했을 때는 격리를 하지 않고 바로 집으로 돌아가는 것이 허용된다. 환자의 몸 안에 남아있는 양이 아니라 환자의 몸으로부터 나오는 방사선량을 기준으로 할 때는 50 uSv/h 이하면 퇴원이 가능하다. 3.7-5.55 GBq의 I-131을 투여했을 경우 2-3일 정도면 이 수준에 도달한다[6].

또는 환자 가족들이 앞으로 받게 될 방사선의 총량을 미리 계산하여 그 양이 5 mSv 이하일 것으로 예상이 되면 격리를 해제하고 퇴원하도록 하는 방법을 쓰기도 한다. 임신부나 어린이, 가족이 아닌 일반인의 경우에는 허

용하는 방사선량을 1 mSv로 제한한다.

귀가하는 환자는 대중교통을 이용하거나 다른 사람이 운전하는 자가용을 이용하여 귀가를 하게 되며, 이 때 동승자는 환자로부터 나오는 방사선에 피폭이 되게 된다. 이 피폭량을 일정한 수준 이하로 유지하기 위해서 위와 같이 귀가하는 환자의 몸 안에 남아있는 방사선의 양이 일정수준 이하가 되어야 퇴원을 할 수 있도록 관리하는 동시에, 동승자가 노출이 되는 총 시간을 줄이는 방법을 쓴다. 일반적으로 1-2시간 정도의 이동을 허용하고 있다.

Cheryl 등은 I-131 치료를 받고 퇴원한 갑상선 암 환자를 2-7일 동안 선량을 측정하여, 퇴원 제 1일에는 0.3 m, 0.6 m, 1 m 거리에서 모두 접촉시간을 제한해야 하고, 2-4일에는 1 m 거리에서는 접촉시간을 제한하지 않으며, 5-7일에는 0.3 m 거리에서도 접촉시간을 제한하지 않아도 된다고 하였다[7]. 퇴원 제 1일에 0.3 m 거리에서 얼마나 긴 시간 동안의 접촉을 허용할 수 있는지는 밝히지 않았다. 다만 퇴원할 때의 평균 선량이 4±0.9 mrem/h라고 하였으므로, 이 값으로부터 퇴원하는 날 0.3 m 거리에서 2시간 정도의 접촉을 허용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

박 등은 3.7-5.55 GBq의 I-131을 투여한 후 바로 환자를 귀가시키면서 동승자와 환자의 가족에게 열형광선량계(TLD)를 착용하게 하고 환자의 방 벽에 TLD를 붙여서 집적된 선량을 측정하였고, 그 결과 환자가 적절하게 안전수칙만 지킨다면 격리입원을 하지 않아도 된다고 하였다[8]. Cheryl 처럼 여러 번 측정을 하여 그 값으로 시간-방사능 곡선을 그리는 대신에, 이렇게 여러 개의 TLD를 며칠씩 부착했다가 떼어 내어 거기에 집적된 방사선의 총량을 측정하는 방법을 사용하여 주변에 있는 사람이 받은 방사선의 총량을 확인하는 방법도 있다.

갑상선암이 아닌 다른 질환에서 얻어진 데이터를 참조할 수도 있다. Barrington 등은 195-800 MBq의 I-131을 투여받은 갑상선항진증 환자의 가족에게 TLD를 패용하도록 하여 가족들이 받은 방사선량을 측정하였다 [9]. 이동 중에 받은 방사선의 양은 한 시간에 0.03 mSv (2 uSv-0.52 mSv) 였으며, 승용차 안에서 운전자와 환자의 거리는 앞뒤로 앉았을 때 71-115 cm였다고 하였다. 갑상선암 환자는 이보다 10배 이상의 I-131을 투여하므로 이 값을 그대로 쓸 수는 없지만, 방사선량이 투여량에 비례한다고 하면 10배라도 0.3 mSv가 되므로 상한선인 1 mSv보다는 적을 것이라고 추정할 수 있다.

투여한 I-131의 양에 따라서 환자의 몸에서 나오는 방사선의 양이 다르므로, 투여한 양에 따른 변화를 반영하려는 시도도 있다. I-131의 물리적 반감기, 환자에게 투여했을 때의 유효반감기, 갑상선의 I-131 섭취율, 환자의 점유인자(occupancy factor) 등의 요소를 고려했을 때 I-131 1 mCi(37 MBq)를 투여하면 1미터 떨어진 거리에서 평균 0.17 mrem/h의 선량율을 얻을 수 있다는 추정식에 따라서 계산을 해 보면 1.1 GBq를 투여한 경우에는 선량율이 5.1 mrem/h가 되고, 이 정도라면 0.3 m 거리에서 약 2시간의 이동을 허용할 수 있다[10].

American Thyroid Association은 이 공식을 이용하여 370 MBq 부터 7.4 GBq 까지의 I-131을 투여했을 때 투여 직후, 투여한지 1-4일째 되는 날 허용할 수 있는 이동 시간을 계산하여 간편하게 볼 수 있는 표를 만들어서 제시하였다[11]. 이 계산법은 투여한 양의 많고 적음에 따라서 미세하게 관리를 할 수 있다는 장점이 있다. 그렇지만 계산식을 만들기 위해서 유효반감기, 갑상선의 I-131 섭취율, 환자의 점유인자 등 여러 가지 가정을 하기 때문에, 실제 개별 환자의 상태를 나타내지는 않는다. 이론적인 평균값을 사용하고 있을 뿐, 동일한 양의 I-131을 투여하더라도 환자의 체형이나 생리적인 차이에 따라 달라지는 것을 반영하지는 못한다.

이렇게 여러 가지 방법들이 있고 계산이 어려운 이유는 방사선의 생물학적인 배출 때문이다. 생물학적인 배출은, 물론 평균적인 범위는 있지만 개인마다 다 다르며, 시간 간격을 두고 개별적으로 직접 실측을 하지 않으면 이 값을 알아 낼 수 없다는 난점이 있다.

유효반감기를 추정하는 방법도 있다. Coover 등은 환자를 격리시키지 않고 줄 수 있는 최대량을 계산하기 위해서 I-131을 투여한 후 첫 8시간 동안은 배출이 없다고

가정을 한 다음 유효반감기를 0.8 x 물리적 반감기로 계산하는 방법을 제안한 바 있다[12]. 이렇게 일정 시간동안은 I-131이 체외로 배출이 되지 않는다는 가정을 하면 계산이 매우 간편해 진다. Coover 처럼 처음 8시간 동안은 배출이 없다는 가정은 무리가 있지만, 이동하는 한 두 시간 동안은 소변을 보지 않는다는 가정은 충분히 합리적이다. 그리고 계산을 좀 더 간편하게 하기 위해서, 이동하는 동안에는 물리적인 붕괴도 일어나지 않는다고 가정을 하면, 환자와 동승한 사람이 받게 되는 방사선의 양은 지수함수가 아니라 아주 단순한 곱셈으로 표현이 된다. I-131의 물리적 반감기는 8일로서 이동에 필요한 몇 시간에 비해서 충분히 길기 때문에 이동하는 시간동안의 물리적인 붕괴를 무시하고 계산을 하더라도 크게 차이가 나지는 않는다. 결국 동승한 사람이 받게 되는 방사선의 양은 출발할 때 쯤 방사선량률을 R, 이동시간을 t라고 하면 Rt라는 간편한 식이 된다.

이 간편계산법에서는 환자의 몸에서 나오는 방사선의 양을 시간간격을 두고 여러 번 실측하여 시간-방사능 곡선을 얻고, 이 시간-방사능 곡선으로부터 λ값을 유도할 필요가 없다. 따라서 격리를 해제하고 퇴원하는 시점에서, 혹은 I-131을 투여하고 바로 귀가하도록 하는 시점에서 한 번만 측정을 하면 되는 간편계산법은 훨씬 실용적이다. 또한 이 간편계산법은 앞에서 논의한 방법들이나 ATA task force의 가이드라인과 비교했을 때, 평균값을 사용하는 것이 아니라 개별 환자에서 측정된 방사선량을 계산에 사용하기 때문에, 개별 환자의 특성을 더 잘 반영한다고 할 수 있다.

이 간편계산법의 효용성을 평가하기 위해서, 갑상선암으로 수술을 받은 후 I-131치료를 받기 위해 입원했던 환자들로부터 측정이 된 방사선량 자료를 이용하여 표준적인 방법으로 계산하여 나온 결과와 간편계산법으로 계산한 결과를 비교하였다. 이 환자들에서 표준적인 방법으로 계산한 유효반감기를 보면 14.2±3.1(8.3-23.1) 시간이었다. North 등은 7.3-106 시간(median 값이 14시간), Luster 등은 10.3-18.3 시간이라고 보고한 바 있다[13, 14]. 유효반감기의 범위는 작지 않았다. 즉, 상당한 개인적인 차이가 존재했다. 따라서 보다 안전한 방사선 관리를 위해서는 평균값을 이용한 방법에 더해서 개별 환자에 맞춘 방법이 필요하다는 것을 알 수 있다.

표준적인 방법과 간편계산법으로 계산한 이동가능시간을 비교했을 때 0.3 m와 0.5 m 거리에서는 표준적인

방법과 간편계산법의 차이가 크지 않았다. 간편계산법에 의하면 0.3 m 거리에서는 평균 1.4시간의 이동이 가능했으며, 표준적인 방법으로는 1.5시간이었다. 0.5 m 거리에서는 각각 3.8시간과 4.1시간의 이동을 허용할 수 있었다. 거리가 1 m로 떨어지면 간편계산법으로는 15시간, 표준적인 방법으로는 27.8시간으로 차이가 커진다. 그러나 실제에서는 그렇게 긴 시간을 이동하는 경우가 없으므로 15시간과 27시간의 차이는 사실상 의미가 없고 할 수 있다. 간편계산법으로 계산한 이동시간은 표준적인 방법으로 계산한 이동시간의 56-96% 범위였으며, 간편계산법으로 계산한 시간이 표준적인 방법으로 계산한 시간을 초과하는 경우는 없었다. 이것은 방사선안전관리 측면에서 볼 때 간편계산법이 이동이 가능한 시간을 표준적인 방법에 비해서 더 길게 계산해내는 일이 없으므로, 간편계산법 때문에 동승자의 피폭량이 늘어나게 되는 일은 없다는 뜻이 된다. 즉 안전한 계산법이다.

또한 이 간편계산법은 갑상선암 환자뿐 아니라 I-131 치료를 받는 갑상선항진증 환자에도 적용을 할 수가 있을 것이다. 갑상선항진증 환자의 경우 I-131의 유효반감기는 5-6일로 갑상선절제수술을 받은 갑상선암환자에 비해서 10배 가까운 차이가 있다[15]. 그러나 귀가하는데 걸리는 비교적 짧은 시간 동안에는 이 간편계산법에서 사용한 가정을 무리 없이 그대로 적용할 수 있으며, 따라서 갑상선항진증 환자의 I-131 치료에도 이 간편계산법을 안전하게 적용할 수 있을 것이다.

이동가능시간의 계산은 모두 일반인에게 허용되는 방사선 총량을 1 mSv로 하여 계산하였다. 그런데 환자의 가족들에 한해서는 피폭량을 5 mSv까지도 허용을 하고 있으므로, 상한을 5 mSv로 할 때는 1 mSv로 계산한 결과 값에 단순히 5배를 곱해주면 된다.

5. 결론

갑상선암 환자에서 I-131 치료를 할 때에는 주변 사람이 받을 수 있는 방사선 피폭량을 허용한도 이하로 줄이는 것이 중요하다. 이렇게 하기 위해서 관리를 해야 할 항목 중 하나가 교통기관을 이용한 이동시간이다. 동승자의 과도한 방사선 피폭을 막으면서 안전하게 이동할 수 있는 시간에 대한 일반적인 가이드라인은 있지만, 현재까지 개별적인 환자의 특성을 반영할 수 있는 가이드

라인은 없었다. 그런데 이동하는 시간 동안에는 I-131의 물리적인 붕괴를 무시하고, 소변에 의한 배출이 없다고 가정을 하면, 동승자가 받는 방사선의 총량을, 여러 번 방사선량을 측정하여 시간-방사능 곡선을 그리고, 거기에서 유도한 지수함수식을 적분하는 복잡한 방법이 아니라, 한번 측정한 방사선량률에 이동시간을 곱하는 단순한 식으로 계산할 수 있다. 따라서 간편계산법을 적용하면 방사선의 총량을 허용 가능한 수준 이하로 유지할 수 있는 이동시간을 매우 간단하게 계산해 낼 수 있다. I-131의 물리적 반감기가 이동시간에 비해서 충분히 길고, 이동하는 동안에는 소변에 의한 배출이 없다는 가정을 하는 것은 충분히 합리적이다. I-131 치료를 위해 입원했던 환자들로부터 나온 데이터를 이용하여 각각 간편계산법과 표준적인 계산법으로 계산을 하고, 그 계산한 결과들을 비교하여 간편계산법의 유용성을 입증하였다. 간편계산법은 쉽게 적용할 수 있고, 안전하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 갑상선암 환자뿐만 아니라 I-131 치료를 받는 갑상선기능항진증 환자에게도 간편계산법을 적용할 수 있음을 밝혔다.

References

- [1] Marcus Middendorp, MD, and Frank Grunwald, MD. Update on Recent Developments in the Therapy of Differentiated Thyroid Cancer. *Semin Nucl Med* 40:145-152, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.10.006>
- [2] Hee Jeong Park, Geum-Cheol Jeong, Seong Young Kwon, Jung-Joon Min, Hee-Seoung Bom, Ki Seong Park, Sang-Geon Cho, Sae-Ryung Kang, Jahae Kim, Ho-Chun Song, Ari Chong, Su Woong Yoo. Stimulated Serum Thyroglobulin Level at the Time of First Dose of Radioactive Iodine Therapy is the Most Predictive Factor for Therapeutic Failure in Patients with Papillary Thyroid Carcinoma. *Nucl Med Mol Imaging* 48:255-261, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13139-014-0282-4>
- [3] Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. ICRP Publication 94. *Ann. ICRP* 34(2). 2004.
- [4] Leonard R, Coover, Edward B. Silberstein, Phyllis J. Kuhn, and Mark W. Graves. Therapeutic ¹³¹I in Outpatients: A Simplified Method Conforming to the

- Code of Federal Regulations, Title 10, Part 35.75. *J Nucl Med* 41:1868-1875, 2000.
- [5] Sungmin Kang, MD, Byung Il Kim, MD, In-Ju Kim, MD, Hee-Seung Bom, MD, Ga Hee Lee MD, Jaetae Lee, MD, Woong Youn Chung, MD, and Jae Hoon Chung, MD. Radiation Safety in the Treatment of Patients with Thyroid Disease by ¹³¹I. *J Korean Thyroid Assoc* 5:6-20, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11106/jkta.2012.5.1.6>
- [6] Jai Hyuen Lee, Seok Gun Park. Estimation of the Release Time from Isolation for Patients with Differentiated Thyroid Cancer Treated with High-dose I-131. *Nuc Med Mol Imaging* 44:241-245, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11106/jkta.2012.5.1.6>
- [7] Cheryl M, Culver and Howard J. Dworkin. Radiation Safety Considerations for Post-Iodine-131 Thyroid Cancer Therapy. *J Nucl Med* 33:1402-1405, 1992.
- [8] Hee-Myung Park, MD., Jung Woong Jang, NMT., Hee Chul Yang, NMT., and Young Gook Kim, NMT. Outpatient Radioablation Therapy for Thyroid Cancer Patients with Minimal Radiation Exposure to the Family Members. *Nucl Med Mol Imaging* 41: 218-225, 2007.
- [9] Sally F. Barrington, Michael J. O'Doherty, Andrew G. Kettle, William H. Thomson, Peter J. Mountford, David N. Burrell, Robert J. Farrell, Stanley Bachelor, Paul Seed, L. Keith Harding. Radiation Exposure of the Families of Outpatients Treated with Radioiodine (iodine-131) for Hyperthyroidism. *Eur J Nucl Med* 26:686-692, 1999.
- [10] Siegel JA, Marcus CS, Stabin MG. Licensee Over-reliance on Conservatism in NRC Guidance Regarding the Release of Patients Treated with I-131. *Health Phys* 93:667-677, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/01.HP.0000270300.34270.44>
- [11] James C. Sisson, John Freitas, Ian Ross McDougall, Lawrence T. Dauer, James R. Hurley, James D. Brierley, Charlotte H. Edinboro, David Rosenthal, Michael J. Thomas, Mira A. Wexler, Ernest Asamoah, Anca M. Avram, Mira Milas, and Carol Greenlee. Radiation Safety in the Treatment of Patients with Thyroid Diseases by Radioiodine ¹³¹I: Practice Recommendations of the American Thyroid Association. The American Thyroid Association Taskforce on Radiation Safety. *Thyroid* 21:355-346, 2011.
- [12] Coover LR, Silberstein EB, Kuhn PJ, Graves MW. Therapeutic ¹³¹I in outpatients: A Simplified Method Conforming to the Code of Federal Regulations, Title 10, Part 35.75. *J Nucl Med* 41:1868-75, 2000.
- [13] David L. North, Douglas R. Shearer, James V. Hennessy, and Glenn L. Donovan. Effective Half-life of ¹³¹I in Thyroid Cancer Patients. *Health Phys* 81:325-329, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00004032-200109000-00013>
- [14] Markus Luster, Steven I. Sherman, Monica C. Skarulis, James R. Reynolds, Michael Lassmann, Heribert Hanscheid, Christoph Reiners. Comparison of Radioiodine Biokinetics following the Administration of Recombinant Human Thyroid Stimulating Hormone and after Thyroid Hormone withdrawal in Thyroid Carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 30:1371-1377, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00259-003-1230-1>
- [15] Berg GE., Michanek AM., Holmberg EC., Fink M. Iodine-131 Treatment of Hyperthyroidism: Significance of Effective Half-life Measurements. *J Nucl Med* 37:228-232, 1996.

박 석 건(Seok-Gun Park)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교의과대학 졸업
- 1994년 2월 ~ 현재 : 단국대학교 의과대학 핵의학과 교수
- 내과전문의, 핵의학과전문의

<관심분야>

핵의학, 의학교육, 의료윤리